

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2017.07.008

# 电磁场对 1100 铝合金铸轧板材组织的影响

许光明, 潘江深

(东北大学 材料电磁过程研究教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

**摘 要:** 研究了 1100 铝合金中添加不同质量分数(0.4% ,0.2% ,0.1%)的 Al-Ti-B 细化剂和铸轧过程中施加电磁振荡场对铸轧板坯组织细化的影响. 结果发现,在添加相同含量的 Al-Ti-B 条件下,铸轧过程中施加电磁振荡场的板坯组织细化效果明显高于普通铸轧的板坯. 同时发现,细化剂的质量分数在 0.1% ~0.4% 范围内,在铸轧过程中施加电磁振荡场,其细化效果都比较满意,其显微组织优于常规铸轧添加 0.4% 细化剂的组织,因此,电磁振荡铸轧可以大幅度降低细化剂的用量,减少元素偏析,改善铸轧坯的内部质量.

**关键词:** 电磁振荡场;1100 铝合金;铸轧;细化剂;组织

中图分类号: TG 146.21

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2017)07-0946-04

## Effect of Electromagnetic Field on Microstructure of 1100 Aluminum Alloy Sheet During Roll Casting

XU Guang-ming, PAN Jiang-shen

(Key Laboratory of Electromagnetic Processing of Materials, Ministry of Education, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: PAN Jiang-shen, E-mail: 1518753509@qq.com)

**Abstract:** When adding different amount of Al-Ti-B refiner(0.4% , 0.2% and 0.1% ) in the 1100 aluminum alloy sheet, the effects of electromagnetic oscillating field on refining microstructure of the sheet during roll casting were investigated. The results show that the refining effects on the microstructure of the roll-casted sheet were significant after applying electromagnetic oscillating field compared with that in the traditional roll-casted one. Also, when the refiner content was within the scope of 0.1% to 0.4% , the refining effect of electromagnetic field was prominent and the refining microstructure was superior to that in the traditional roll-casted one with adding 0.4% refiner. Therefore, the electromagnetic vibration roll casting process can decrease the amount of the refiner greatly, reduce element segregation and improve internal quality in a roll-casted billet.

**Key words:** electromagnetic oscillating field; 1100 aluminum alloy; roll casting; refiner; microstructure

1100 铝合金为铝质量分数 99.0% 的普通纯铝,强度低,但有良好的热加工和冷加工性能,耐腐蚀性和焊接性能优良,阳极氧化后可进一步提高其耐蚀性,同时可获得美观的表面. 广泛应用于从炊具到工业设备的各个领域<sup>[1-2]</sup>. 用于加工需要有良好的成形性和高的耐蚀性,但不要求有高强度的零件部件<sup>[3-4]</sup>. 晶粒细化是改善 1100 铝合金材料性能的有效手段,其中 Al-Ti-B 合金是使用最广泛的晶粒细化剂<sup>[5-6]</sup>. 但是过多的使用晶粒细化剂将会加大生产成本. 在细化剂中,Ti 以

可溶的  $TiAl_3$  形式进入熔体,而  $TiB_2$  在铝熔体里却不溶解,易聚集沉淀<sup>[7]</sup>. 当  $TiB_2$  质点聚集成团块,特别是密集的团块,不但影响晶粒细化效果,而且还会影响铝合金的产品质量. 所以,它能造成熔体污染、流动性差、易衰退、沉淀物较多等缺点. 因此,减少细化剂的用量,提高细化剂的利用率是改善合金性能的重要手段.

近年来,应用电磁场处理材料一直备受关注,材料电磁加工已成为金属材料基础研究和开发制备新技术领域的重要研究方向之一,已形成多学

科交叉、应用领域广泛、工艺方法众多的一门边缘科学<sup>[8-10]</sup>。本文就是基于以上思路,自行设计电磁场发生装置,即安装在金属容器内的密绕螺线圈。螺线圈共分3组,每组由单根导线向内密绕形成,单根导线横截面尺寸为18 mm×3 mm,因此每组线圈的横截面总尺寸为18 mm×60 mm,3组密绕螺线圈总计54 mm×60 mm。此装置共两个,分别放置在铸轧区入口和出口,以便对铸轧过程施加电磁场。通过研究铸轧1100铝合金板材过程细化剂的添加量和铸轧方式对凝固组织的影响,探索电磁场铸轧对细化剂细化效果的影响,从而确定细化剂的合理添加量,改善1100铝合金板材铸轧坯质量。

## 1 实验材料和实验方法

本实验用的1100铝合金采用铝锭(99.85%纯铝)、铝硅合金和铁剂进行配比,在80 kg的工业电阻炉内加热到720℃,保温30 min。再将Fe、Si等各种合金材料按照预先设计好的比例投入到熔炼炉内开始熔炼。待金属全部熔化后进行扒渣等工序并缓慢降温至700℃,保温20 min后进行铸轧。熔炼期间需制备铸轧咀子、侧封等铸轧相关用品,保温期间安装铸轧咀子和流槽并对其进行烘烤,为实验做最后的准备。在浇注前5 min将适量的细化剂放入到铝溶液中熔化并搅拌均匀。在浇铸前大约1 min,打开磁场发生装置,将电流强度调到250 A,在铸轧区激发出磁场约为26 mT。铸轧辊规格为 $\phi 500$  mm×500 mm,如图1所示。经过多次实验,铸轧出板型良好、表面光洁的1100铝合金板材。切取铸轧板中心部位尺寸为20 mm×20 mm×6 mm的试样作为研究对象,用Leica DMI 5000M倒置金相光学显微镜观察其截面,以研究细化剂含量及电磁场对铸轧坯组织的影响。

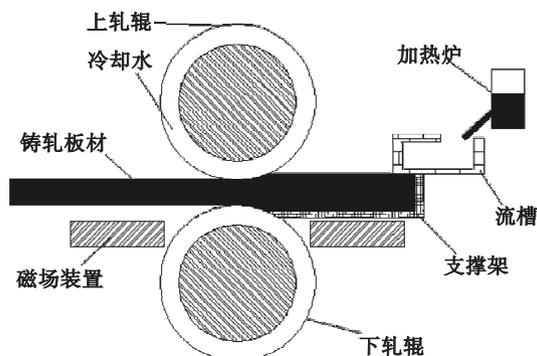


图1 电磁场铸轧示意图

Fig. 1 Schematic diagram of electromagnetic field roll casting

## 2 结果与分析

为了研究细化剂和电磁场对铸轧坯细化效果的影响,首先不加细化剂和把细化剂的质量分数固定在工业生产常用的0.2%与0.4%,并进行常规铸轧和电磁场铸轧,研究电磁场条件下的细化效果。

图2为无细化剂和细化剂质量分数为0.2%和0.4%常规铸轧条件下的显微组织,可以看到,对于1100铝合金,铝钛硼细化剂添加量(质量分数)为0.4%时,基本可以达到细化的目的,但是仍有个别的大枝晶(光亮晶)出现,同时伴有明显的微观偏析出现,如图2c所示。而添加质量分数为0.2%细化剂的铸轧坯组织,则明显为粗大的枝晶组织,光亮晶居多,如图2b所示。枝晶臂平均尺寸在100  $\mu\text{m}$ 左右,局部存在枝晶臂尺寸在10  $\mu\text{m}$ 左右的细小枝晶,但其所占比例很小,组织很不均匀。这是由于细化剂添加量较小,在熔体中分布很不均匀,含有细化剂微粒的部分产生了细化效果。因此,添加质量分数为0.2%细化剂没有达到细化组织的目的。如图2a所示,在无细化剂的条件下,组织更为粗大且不均匀,光亮晶进一步增多,局部细小枝晶所占比例仍然很小。

图3为无细化剂和细化剂质量分数分别为0.2%和0.4%的铸轧板坯显微组织,但是在铸轧过程中施加了电磁场,可以看到在有细化剂的条件下,如图3b和图3c所示,其细化效果明显优于常规铸轧坯料。既没有光亮晶的出现,也没有明显的微观偏析,显微组织质量明显得到提高。枝晶臂平均尺寸在5~10  $\mu\text{m}$ 之间,中间已经没有了明显的柱状晶,等轴晶较常规铸轧更为细小,而且分布均匀。在没有添加细化剂的条件下,仍有光亮晶,但比常规铸轧时细小且更加均匀,由于电磁力的作用,柱状晶明显减少,细小的枝晶组织所占比例居多,组织得到明显细化,且分布更加均匀。

在此基础上,研究了进一步降低细化剂质量分数到0.1%条件下电磁场铸轧的组织,结果发现,当细化剂质量分数降低到0.1%时,其铸轧坯组织的细化效果依然比较满意,如图4所示。

## 3 组织形成机理分析

根据法拉第电磁感应定律:当导体在磁场中作切割磁力线运动时,将产生感应电流,这一电流与磁场相互作用,产生一个与导体运动方向相反的电磁力。在铸轧过程中施加电磁场,当恒定磁场

相对于液态金属移动时,在液态金属内会产生感应电流,它和磁感应强度交互作用产生一个体积力.这个力会使熔体内部产生剧烈的强制对流,进一步将初生凝固壳处形成的枝晶臂熔断并带入液穴内部形成异质核心.与此同时,这个力还能打碎铝合金熔体中的 Al-Ti-B 团簇,使 Al-Ti-B 团簇弥散,从而形成更多的细化剂团簇,使得整个熔体中分布着大量的形核核心,从而起到了抑制枝晶生长和晶粒细化的作用.

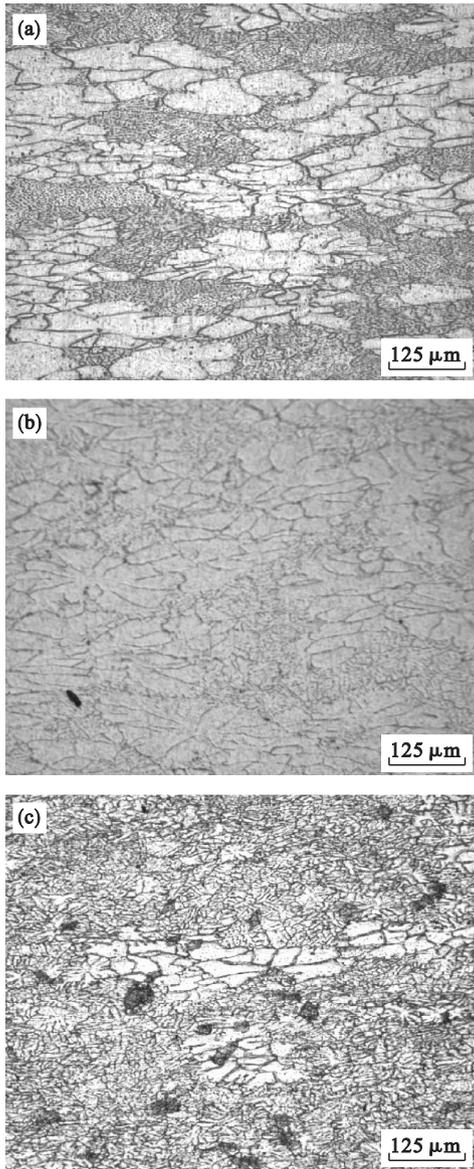


图 2 不同细化剂含量下 1100 铝合金常规铸轧坯组织  
Fig. 2 Microstructures of the traditional roll-casted 1100 aluminum alloy sheets with different content of the refiner

(a)一无添加;(b)一质量分数 0.2%;(c)一质量分数 0.4%.

因此,在常规铸轧中,铸轧板坯的组织比较粗大且不均匀,同时光亮晶居多.在施加电磁场后,组织得到明显细化,且分布更加均匀.

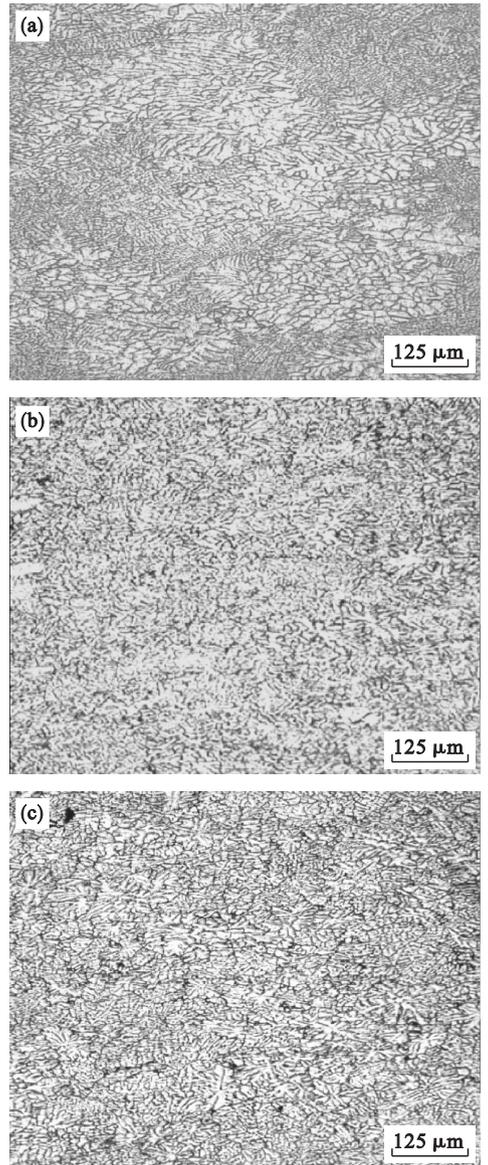


图 3 不同细化剂含量下 1100 铝合金电磁场铸轧坯组织  
Fig. 3 Microstructures of electromagnetic roll-casted 1100 aluminum alloy sheets with different content of the refiner

(a)一无添加;(b)一质量分数 0.2%;(c)一质量分数 0.4%.

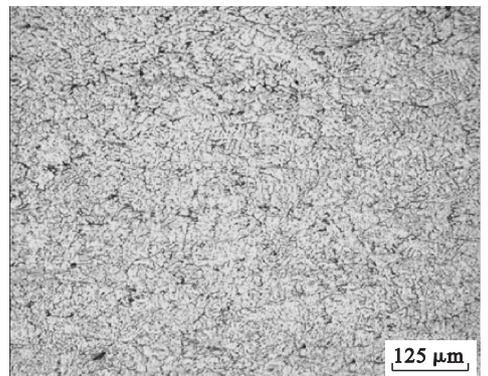


图 4 细化剂质量分数为 0.1% 时电磁场铸轧 1100 铝合金坯料组织  
Fig. 4 Microstructure of electromagnetic roll-casted 1100 aluminum alloy sheet with 0.1% refiner

## 4 结 论

1) 在常规铸轧1100铝合金中,添加质量分数为0.4%晶粒细化剂可以达到细化组织的目的,但是,仍然存在个别的光亮晶,同时存在微观偏析;而添加质量分数为0.2%细化剂时,细化效果不理想。

2) 电磁场铸轧可以提高晶粒细化剂的使用效率,组织得到明显细化。

3) 在电磁场铸轧条件下添加质量分数为0.1%细化剂,其细化效果要好于添加质量分数为0.4%的常规铸轧。

### 参考文献:

- [1] Liu X B, Xu Q Y, Jing T, et al. Microstructure of aluminum twin-roll casting based on cellular automation [J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2008, 4(4): 944-949.
- [2] McBrien M, Allwood J M, Barekar N S. Tailor blank casting-control of sheet width using an electromagnetic edge dam in aluminum twin roll casting [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, 224: 61-63.
- [3] 程杰, 张国良, 王志勇, 等. 铝及铝合金连续铸轧带坯生产[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2010: 4-5. (Cheng Jie, Zhang Guo-liang, Wang Zhi-yong, et al. Aluminum and aluminum alloy continuous roll casting strip production[M]. Changsha: Central South University Press, 2010: 4-5.)
- [4] Lee Y S, Kim H W, Cho J H. Process parameters and roll

separation force in horizontal twin roll casting of aluminum alloys [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, 218: 49-50.

- [5] Murty B S, Kori S A, Chakraborty M. Grain refinement of aluminum and its alloys by heterogeneous nucleation and alloying [J]. *International Materials Reviews*, 2002, 47(1): 3-29.
- [6] 肖政兵, 邓运来, 唐建国, 等. Al-Ti-C与Al-Ti-B晶粒细化剂的Zr中毒机理[J]. *中国有色金属学报*, 2012, 22(2): 371-378. (Xiao Zheng-bing, Deng Yun-lai, Tang Jian-guo, et al. Poisoning mechanism of Zr on grain refiner of Al-Ti-C and Al-Ti-B [J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2012, 22(2): 371-378.)
- [7] Wang C L, Wang M X, Liu Z Y, et al. The grain refining action of fine TiB<sub>2</sub> particles in the electrolytic low-titanium aluminum with Al-4B addition [J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2006, 427: 148-153.
- [8] Su X, Xu G M, Feng Y H. Effect of magnetostatic field on microstructure of 7075 aluminum alloy strip manufactured by twin-roll casting [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 652/653/654: 2427-2431.
- [9] 苏鑫, 许光明. 电磁场对5052铝合金铸轧板材组织性能的影响[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2014, 35(6): 800-802. (Su Xin, Xu Guang-ming. Effect of magnetostatic field on microstructure of 5052 aluminum alloy strip manufactured by roll-casting [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2014, 35(6): 800-802.)
- [10] Vives C. Effects of electromagnetic vibrations on the microstructure of continuously cast aluminum alloys [J]. *Materials Science and Engineering: A*, 1993, 173(1/2): 169-172.